

**PRARANCANGAN PABRIK *PARAXYLENE*
DENGAN PROSES DISPROPORSIONASI *TOLUENE*
KAPASITAS 350.000 TON/TAHUN**



Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata 1
pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik

Disusun Oleh :

LISTIANI

D500120017

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PRARANCANGAN PABRIK *PARAXYLENE*
DENGAN PROSES *DISPROPORSIONASI TOLUENA*
KAPASITAS 350.000 TON/TAHUN**

PUBLIKASI ILMIAH

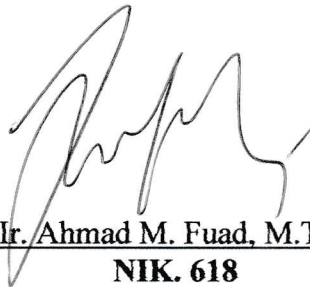
oleh:

LISTIANI

D 500 120017

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Ahmad M. Fuad, M.T., Ph.D.
NIK. 618

HALAMAN PENGESAHAN

**PRARANCANGAN PABRIK *PARAXYLENE*
DENGAN PROSES *DISPROPORTIONASI TOLUENE*
KAPASITAS 350.000 TON/TAHUN**

OLEH

LISTIANI

D 500 120017

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Senin, 06 Februari 2017

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.

(Ketua Dewan Penguji)

()


2. Emi Erawati, S.T., M.Eng.

(Anggota I Dewan Penguji)

()

3. Ir. H. Ahmad M. Fuadi, M.T., Ph.D.

(Anggota II Dewan Penguji)

()

Dekan,



Ir. Sri Sanarjono, M.T., Ph.D.

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau di terbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 10 Maret 2017

Penulis



Listiani

D500120017

PRARANCANGAN PABRIK PARAXYLENE
DENGAN PROSES DISPROPORSIONASI TOLUENE
KAPASITAS 350.000TON/TAHUN

Abstrak

Paraxylene bisa digunakan sebagai bahan baku *dimetyl terephtalate* dan *terephthalate acid*. Kapasitas pabrik yang akan didirikan adalah 350.000 ton/tahun beroperasi selama 330 hari per tahun dan bersifat kontinyu. Pabrik yang direncanakan berdiri pada tahun 2020 ini di Cilegon, Banten. Jumlah kebutuhan tenaga kerja yaitu 164 orang. Bahan baku pembuatan *paraxylene* yaitu toluena dan hidrogen dengan bantuan katalis ZSM-05 pada suhu 400–450°C dan tekanan 30 atm. Reaktor yang digunakan yaitu *fixed bed multitube non-isothermal adiabatic*. Konversi pada reaksi ini 31% bersifat endotermis. Tahap yang diperlukan adalah tahap penyimpanan bahan baku, penyiapan bahan baku dan tahap pembentukan produk. Kemurnian yang dibutuhkan yaitu 95%. Fase yang terjadi merupakan fase gas. Tahap pertama *toluene* cair yang diuapkan menjadi gas direaksikan dengan hidrogen dengan bantuan katalis ZSM-5. Suhu reaksi yaitu 450°C. Proses tersebut menghasilkan produk utama *paraxylene* dan produk samping berupa *benzene*. Pendingin yang digunakan berasal dari air sungai Ciujung. Pabrik *paraxylene* merupakan perseroan terbatas yang dipegang oleh beberapa pemegang saham. Pabrik di bangun diatas tanah dengan luas 3.800 m². Modal kerja yang dibutuhkan sebesar Rp 142.200.962.196,00. *Percent return on investmen* sebelum pajak yaitu 68,07% dan setelah pajak menjadi 51,05%. *Pay out time* sebelum pajak 1,3 tahun dan setelah pajak 1,6 tahun. *Break event point* sebesar 42,31% dan *shut down Point* sebesar 25,15%.

Kata kunci : *paraxylene*, non-isothermal, *benzene*

Abstract

Paraxylene can be used as a raw material *dimetyl terephtalate* and *terephthalate acid*. The capacity of the plant to be established is 350,000 tonnes / year beroperasi for 330 days per year and is continuous. The planned factory was established in 2020 in Cilegon, Banten. Total labor requirement is 164 people. Raw material for making *paraxylene* is toluene and hydrogen with the aid of a catalyst ZSM-05 at 400-450°C temperature and pressure of 30 atm. The reactor used is a fixed bed multitube non-isothermal adiabatic. Conversion to 31% of this reaction is endothermic. Necessary stage is the stage of storage of raw materials, preparation of raw materials and product formation stage. Purity required is 95%. Phase happens is the gas phase. The first phase toluene vaporized liquid to a gas is reacted with hydrogen with a catalyst ZSM-5. The reaction temperature is 450°C. The process produces *paraxylene* main products and byproducts such as *benzene*. Cooling water used comes from rivers Ciujung. *Paraxylene* factory is a limited liability company held by some shareholders. The factory was built on land with an area of 3,800 m². Working capital needed is Rp 142.200.962.196,00. *Percent return on investmen* before tax is 68.07% and after tax to 51.05%. *Pay out time*

before tax after tax of 1.3 years and 1.6 years. Break even point of 42.31% and shut down Point amounted to 25.15%.

Keyword : paraxylene, non-isothermal, benzene

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri kimia mempunyai peranan sangat penting dalam pembangunan ekonomi. Pembangunan industri kimia di Indonesia sudah sangat baik. Hal ini ditunjukkan dengan banyak berdirinya industri kimia dan adanya kesempatan terbuka dalam penanaman modal asing di industri kimia.

Paraxylene merupakan suatu senyawa yang digolongkan menjadi senyawa hidrokarbon aromatik. *Paraxylene* dapat diolah lebih lanjut menjadi berbagai macam produk akhir, sebagai contoh, pembuatan *asam terephtalat* (PTA) dan *dimetil terephtalat* (DMT). *Asam Terephtalat* (PTA) dan *dimetil terephtalat* (DMT) bisa diolah sebagai bahan industri plastik maupun tekstil atau bisa disebut perantara polyester, selain itu *paraxylene* juga bisa digunakan untuk bahan film, resin, fiber, plasticizer, bahan campur bensin, zat pengelusi untuk fungisida dan insektisida, bahan penggosok dan lain sebagainya.

1.1 Kebutuhan impor

Table 1.1 Data impor *paraxylene* (kg / tahun)

Tahun	<i>Import</i> (kg/tahun)
2009	653.540.011
2010	777.529.497
2011	623.773.147
2012	652.613.380
2013	723.503.203
2014	914.630.976

sumber: bps.go.id

$$\sum y = na + b \sum x$$

$$\sum xy = a \sum x + b \sum x^2$$

$$4.345.590.214 = 6a + 12069 b$$

$$9,0E+12 = 12069 a + 3,20667E+18 b$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 b &= 33.491.890,74 \\
 a &= -66.644.673.194 \\
 y &= bx+a \\
 &= 33.491.890,74x - 66.644.673.194 \\
 &= 1.008.946.107
 \end{aligned}$$

Kebutuhan *paraxylene* di Indonesia diperkirakan tahun 2020 yaitu 1.008.946.107 kg.

1.2 Tinjauan Proses

Ada beberapa macam proses produksi *paraxylene*, yaitu :

A. Adsorpsi dan Isomerisasi *Xylene*

Proses adsorpsi dan isomerisasi terdiri dari berbagai macam antara lain

a. Proses Mobil Oil Corporation

C₈ aromatis dipompa ke adsorber untuk menyerap *paraxylene* dengan adsorbent AD (*Barium oxide on silica aluminium support*) yaitu *molecular sieve adsorbent* temuan UOP.

b. Proses kombinasi aromax dan isolene (Kombinasi Adsorpsi dan Isomerisasi)

Proses kuno pemisahan C₈ aromatis dengan menggunakan fraksional kristalisasi hanya akan memperoleh 50% dari aliran umpan sedangkan hasil yang tinggi tidak dimungkinkan karena adanya formasi eutatik yang akan mengurangi kemurnian produk.

B. Kristalisasi dan Isomerisasi *Xylene* (Proses Isomar Maruzen)

Proses ini digunakan untuk mengkristalkan dan mengisomerisasikan mixed C₈ aromatis menjadi *paraxylene* dengan kemurnian tinggi hingga 99,9% dari umpan yang mengandung 32% *xylene*.

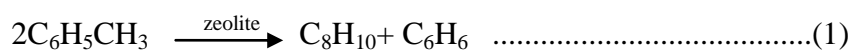
C. Alkilasi *toluene*

Menggunakan *toluene* dan methanol sebagai pemberi gugus alkyl. Umumnya disebut metilasi dari *toluene*. Gugus metil dari metanol akan masuk pada senyawa *benzene* dan membentuk *paraxylene*. Reaksi utamanya yaitu reaksi alkilasi *toluene* dan reaksi sampingnya adalah dehidrasi methanol, metilasi *toluene* dan *dealkylation xylene*.

D. Disproporsionasi Toluena

Proses disproporsionasi merupakan proses trans-alkilasi secara katalitik. Dalam bentuk yang paling sederhana *toluene* dikonversi menjadi *benzene* dan *p-xylene*. Gugus metil dari molekul *toluene* satu pindah ke molekul *toluene* yang lain. Senyawa *toluene* yang menerima gugus metil akan menjadi *paraxylene*.

Reaksi :



Xylene yang terjadi pada campuran ini adalah campuran *p-xylene* dan *benzene*.

2. METODE

2.1. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1. Spesifikasi Bahan Baku

a. *Toluene* (PT. Chandra Asri)

- Rumus molekul : $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$
- Fase : cair
- Warna : jernih
- Kemurnian : 99,9% wt
- Impuritas :
 - Benzena : 0,1% wt

b. Hidrogen (PT. ALIndo)

- Rumus molekul : H_2
- Fase : gas
- Tekanan : 1 atm
- Warna : tidak berwarna
- Berat molekul : 2,016 g/mol
- Titik didih normal : $-252,57^\circ\text{C}$
- Titik beku normal : $-259,15^\circ\text{C}$
- Kemurnian : 99,9% wt

- Impuritas : CH₄ : 0,1% wt

2.1.2. Spesifikasi bahan pembantu katallis ZSM-05

1. Katalis ZSM-05 (Yinghe chemical.co.Ltd)

- Fasa : padat
- Bentuk : pelet
- Diameter : 2 mm
- Ukuran pori-pori : 2 – 4,3 Å
- Bulk Density : 1,79 g/cm³

2.1.3. Spesifikasi Produk Utama

1. Paraxylene

- Rumus molekul : C₆H₄(CH₃)₂
- Fase : cair
- Warna : jernih
- Berat molekul : 106,67 g/mol
- Titik didih normal : 242,36°C
- Titik beku normal : 13,26°C
- Kemurnian : 98,95% wt
 - Metaxylene : 0,71% wt
 - Ortoxylene : 0,23% wt
 - Toluene : 0,11% wt

2.1.4 . Spesifikasi Produk Samping

1. Benzene

- Rumus molekul : C₆H₆
- Fasa : Cair
- Warna : jernih
- Kemurnian : min 0,30% wt
- Berat molekul : 92,141 g/mol
- Titik didih normal : 110,625°C
- Titik beku normal : -94,97°C
- Kemurnian : 99,8% wt
- Impuritas :

- *Toluene* : 0,2% wt

2.2. Latar Belakang Proses

Paraxylene merupakan salah satu impuritas dari *xylene*, dimana impuritas dari *xylene* yaitu *paraxylene*, *metaxylene*, dan *ortoxylene*. Untuk membuat *paraxylene* melalui reaksi disproporsionasi toluena dengan bantuan katalis ZSM-05. Pada dasarnya proses reaksi disproporsionasi merupakan pemindahn gugus alkil dari senyawa aromatis molekul *toluene*. Molekul satu berpindah ke molekul lainnya dengan cara komponen *toluene* yang mendifusi kedalam permukaan katalis melalui pori-pori. Senyawa *toluene* yang kehilangan gugus alkilnya akan berubah menjadi *benzene* dan senyawa *toluene* lainnya akan menerima gugus metilnya membentuk *mixed xylene* (*p-xylene*, *m-xylene*, *o-xylene*).

Proses disproporsionasi dapat dituliskan seperti dibawah ini :

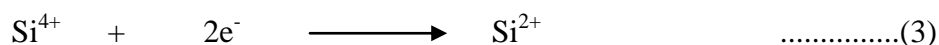


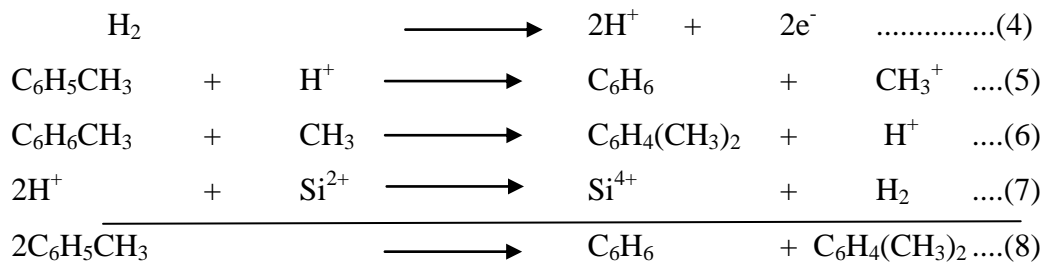
Ortoxylene dan *metaxylene* yang terbentuk akan berisomerisasi menjadi *paraxylene* dalam pori-pori katalis ZSM-05. Didalam katalis waktu tinggal *ortoxylene* dan *metaxylene* lebih lama dibandingkan dengan *benzene* maupun *paraxylene*, karena difusifitasnya lebih rendah. Kemudian *benzene* yang terbentuk akan meninggalkan permukaan katalis diikuti *paraxylene*.

Oleh sebab itu, campuran yang keluar dari proses reaktor masih terdapat beberapa komponen seperti *paraxylene*, *metaxylene*, *ortoxylene*, *benzene*, *hidrogen* dan *toluene*. Akan tetapi komponen yang paling banyak adalah *paraxylene*.

2.3 Mekanisme Reaksi

Reaksi kimia disproporsionasi merupakan suatu zat bisa berfungsi baik sebagai oksidator maupun reduktor. Konsep tersebut secara molekular bisa dilihat dibawah ini:





Pada awal gas hidrogen berubah menjadi hidrogenium dengan bantuan katalis, kemudian masuk kedalam ikatan gugus alkil sehingga ikatan akan menjadi lebih lemah dan membentuk *benzene* dan alkil radikal bebas. Gugus tersebut akan menyerang senyawa aromatis yang lain dan membentuk *xylene* dan hidrogenium. Kemudian hidrogenium tereduksi membentuk gas hidrogen lagi.

2.4 Kondisi Operasi dalam reaktor

Reaksi pembuatan *paraxylene* berlangsung pada suhu 400–450°C dan tekananya 30 atm. Dimana fase yang digunakan adalah fase gas dan reaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed multitube dengan* menggunakan katalis ZSM-05. Reaksi berlangsung pada suhu dan tekanan yang sangat tinggi dikarenakan :

- Untuk membantu proses adsorpsi *toluene* pada permukaan katalis, dan untuk mendorong uap *toluene* ke dalam pori-pori katalis.
- Untuk reaksi aktivasi dan reaksi dipermukaan katalis.

Reaktor *fixed bed multitube* digunakan, karena reaksi yang terjadi yaitu endotermis dan membutuhkan pemanas dikarenakan perbedaan suhu pada dasar dan puncak reaktor, selain itu perawatannya lebih mudah karena dari sisi konstruksinya lebih sederhana.

2.5 Tinjauan Termodinamika

Reaksi ini merupakan reaksi orde dua, yang mana rumus dari kecepatan reaksinya yaitu :

$$-r_A = kP_A^2 \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

P_A : Tekanan parsial (atm)

k : Konstanta kecepatan reaksi

$$k : 819,49 \exp^{(-65000/RT)} \text{ l/kmol.jam.kg.atm}$$

Untuk reaksi yang terjadi pada temperatur (25°C) yaitu :

$$\begin{aligned}\Delta H_f^\circ \text{ standar} &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= 100,9001 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Dan untuk reaksi yang terjadi pada suhu reaksi yaitu :

$$\begin{aligned}\Delta H_f^\circ \text{ Reaksi} &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= 576.773,880 \text{ kJ/mol (endotermis)}\end{aligned}$$

Dilihat dari energi bebas Gibbs (ΔG_f°) yaitu :

$$\begin{aligned}\Delta G_{f\ 298}^\circ &= \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= -15414,3 \text{ kcal/kg.mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\ln K &= - \Delta G_f^\circ / (RT) \\ &= 19,3939\end{aligned}$$

$$K = 264.645.036,2$$

2.6 Tinjauan Kinetika

Persamaan yang terjadi pada reaksi disproportionasi toluena yaitu :



Dengan :

A = *toluene*

B = *Benzene*

C = *Toluene*

persamaan kecepatan reaksi yaitu :

$$-r_A = k P_A^2 \dots\dots\dots(11)$$

Menurut pendapat Arrhenius :

$$k = k_0 e^{-E/RT} \dots\dots\dots(12)$$

2.7 Langkah Proses

Proses pembuatan *paraxylene* dibagi menjadi 5 tahapan, yaitu :

1. Tahap penyimpanan bahan baku
2. Tahap penyiapan bahan baku
3. Tahap reaksi dalam reaktor

4. Tahap pemisahan produk dan pemurniannya

3. PEMBAHASAN

3.1 Unit Pendukung Proses

Unit pendukung proses merupakan bagian penting yang menunjang jalannya proses produksi. Unit pendukung proses yang digunakan antara lain : unit penyediaan air (air pendingin, air proses, air untuk boiler dan air untuk perkantoran dan perumahan), *steam*, listrik dan bahan bakar.

Unit pendukung proses yang dibutuhkan pada prarancangan pabrik ini meliputi :

- a) Unit Penyediaan dan Pengolahan Air
- b) Unit Penyediaan *Steam*
- c) Unit Penyediaan Listrik
- d) Unit Penyediaan Bahan Bakar
- e) Unit penyediaan udara bertekanan
- f) Unit Laboratorium
- g) Unit pengolahan limbah

3.2 Bentuk Perusahaan

Pabrik *paraxylene* yang akan didirikan merupakan perusahaan berbadan hukum Perseroan Terbatas (PT). Perseroan Terbatas merupakan suatu badan hukum dimana dalam menjalankan usaha memiliki modal yang terdiri dari saham-saham. Saham merupakan surat berharga yang dikeluarkan dari perusahaan tersebut dan orang yang memegang saham merupakan orang yang telah menyetorkan modal ke perusahaan tersebut.

3.3 ANALISA EKONOMI

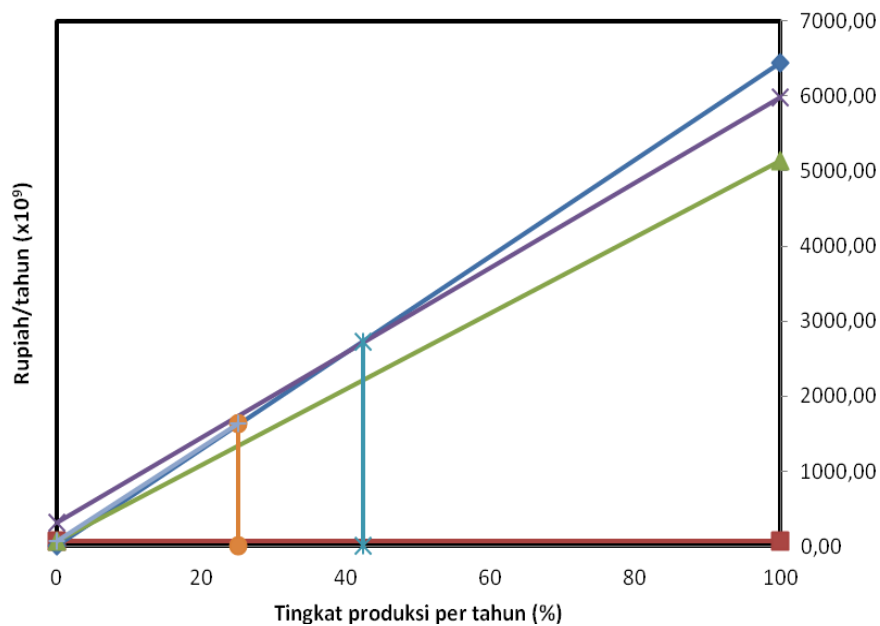
Pada prarancangan pabrik *paraxylene* ini dilakukan evaluasi investasi. Evaluasi investasi ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah pabrik yang dirancang menguntungkan dari segi ekonomi atau tidak bila didirikan. Bagian terpenting dari perancangan ini yaitu estimasi harga dari alat. Hal ini dikarenakan harga alat dipakai sebagai dasar untuk estimasi tentang kelayakan

investasi modal dalam kegiatan produksi suatu pabrik dengan meninjau kebutuhan modal investasi, besar laba, lama modal investasi dapat dikembalikan, dan terjadinya titik impas. Pada prarancangan pabrik acrylonitrile dibuat evaluasi yang ditinjau dengan 4 metode (aries & Newton, 1955):

1. Penaksiran modal (*Capital investment*), terdiri dari:
 - a. Modal tetap (*fixed capital investment*)
 - b. Modal kerja (*working capital investment*)
2. Penentuan biaya produksi (*Manufacturing cost*)
 - a. Biaya produksi langsung (*direct manufacturing cost*)
 - b. Biaya produksi tidak langsung (*indirect manufacturing cost*)
 - c. Biaya tetap (*fixed manufacturing cost*)
3. General expense
4. Analisa kekayaan
 - a. *Percent return on investment*(ROI)
 - b. *Pay out time* (POT)
 - c. *Break event point* (BEP)
 - d. *Shut down point* (SDP)
 - e. *Discounted cash flow* (DCF)

Tabel 6.1 Analisa kelayakan

Kriteria	Terhitung	Syarat
(ROI)b	68%	(ROI)b >44% (High risk, tabel 54, aries Newton)
(ROI)a	51%	
(POT)b	1,3	(POT)b maks 2 tahun
(POT)a	1,6	(High risk,Tabel 55,Aries Newton)
BEP	42,3%	40 - 60 %
SDP	25,1%	20 - 30 %
DCF	24%	>> 1.5 x dari SUKU BUNGA BANK



Gambar 6.1 Grafik analisa ekonomi

4. KESIMPULAN

Pabrik *paraxylene* beroperasi pada suhu 400-450°C dengan tekanan 30 atm, digolongkan pabrik beresiko tinggi.

Hasil analisis kelayakan ekonomi adalah sebagai berikut:

1. Keuntungan sebelum pajak Rp 346.887.354.136 per tahun
Keuntungan setelah pajak Rp 260.165.515.602 per tahun
2. ROI (*Return On Investment*) sebelum pajak 51,05%
ROI (*Return On Investment*) sesudah pajak 68,07%
3. POT (*Pay Out Time*) sebelum pajak 1,3 tahun
POT (*Pay Out Time*) sesudah pajak 1,6 tahun
4. BEP (*Break Event Point*) adalah 42,31% dan SDP (*Shut Down Point*) adalah 25,15%. DCF (*Discounted Cash Flow*) adalah 24,39 %.

Dari data hasil perhitungan analisis ekonomi di atas dapat disimpulkan bahwa pabrik *Paraxylene* layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S., and Newton, R.D. 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*, Mc Graw-Hill Book Co. Inc, New York.
- Badan Pusat Statistik. 2015. *Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia*. Jakarta.
- Bird, R. Byron, 1960, “*Transport Phenomena*”, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Brown, G. G., 1978, *Unit Operations*, John Wiley and sons, Inc, New York.
- Brownell, L. E., and Young, E. H. 1979, *Process Equipment Design*, Wiley Eastern Limited, New Delhi
- Coulson, J. M. and Richardson, J. F., 1983, *Chemical Engineering*, 1st edition, volume 6, Pergason Press, Oxford..
- Kern, D. Q., 1988, “*Process Heat Transfer*”, 24 ed., Mc. Graw Hill Book Student International Ed., Singapore.
- Kirk, R.E., and Othmer, D. F., 1978, “*Encyclopedia of Chemical Technology*”, 3rd ed., vol. 4, John Wiley and Sons Inc, New York.
- Levenspiel, O., 1972, “*Chemical Reaction Engineering*”, 2nd ed., John Wiley and Sons, New York.
- Perry, R. H., 1999, “*Perry’s Chemical Engineering Hand Book*”, 7th ed., Mc. Graw Hill International Edition, New York.
- Smith, J.M., and Van Ness, H. C., 1975, “*Introduction to Chemical Engineering Thermodynamic*”, 3rd ed., 5th. Ed., Mc. Graw Hill Book Student International Edition, Tokyo.
- Wallas, S. M., 1989, “*Reaction Kinetics for Chemical Engineers*”, Butter Worths, London.